

**TALAJVÍZSZINT-FLUKTUÁCIÓK KLÍMAELEMÉK TÜKRÉBEN  
ALFÖLDI ESETTANULMÁNYOKON**

Doktori értekezés



**Garamhegyi Tamás**

Témavezető: **Kovács József Ph.D, habil**, egyetemi docens

Környezettudományi Doktori Iskola

Környezeti földtudomány doktori program

Doktori iskola vezetője

**Jánosi Imre D.Sc.**

egyetemi tanár

Programvezető

**Szabó Csaba Ph.D, habil**

egyetemi docens

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar

Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Budapest, 2020. június

## TARTALOMJEGYZÉK

I.	BEVEZETÉS.....	1
II.	CÉLKITŰZÉSEK.....	2
III.	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	4
IV.	TÉZISEK.....	6
V.	A DOKTORI ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK.....	8
	VÁLOGATOTT IRODALOMJEGYZÉK.....	9

### I. BEVEZETÉS

A Föld lakosságának közel a fele függ a felszín alatti vízkészletből származó ivóvíztől, miközben az egyre növekvő vízkészletcsökkenés több mint 2 milliárd ember megfelelő minőségű ivóvíz- és öntözővízellátását fenyegeti (Oki és Kanae, 2006). Az elmúlt 50 évben a felszín alatti víz kitermelésének részaránya globálisan elérte az összesen termelt víz 35%-át, világszerte fontos vízforrássá vált az ipar (27%), a mezőgazdaság (42%) és a háztartások (36%) számára (Döll et al., 2012). Jelenleg számos régióban a felszín alatti víz mennyiségének a csökkenése figyelhető meg, ami a víztartó rétegek túlzott szivattyúzásával, víztelenítésével áll kapcsolatban. Ezen felül pedig a klíma fokozatos megváltozása, a lehulló csapadék eloszlásának szélsőségessé válása, illetve az aszályos időszakok gyakoriságának növekedése (IPCC, 2007) miatt a társadalmi, ipari és a mezőgazdasági vízigény további emelkedése várható. Fontos ezért minél részletesebben feltárni a felszín alatti víz és a klíma közötti kapcsolatrendszer, különösen a változásra legérzékenyebb zónákban, hogy a klímaváltozásra való felkészülési stratégiák tervezésekor adatvezérelt megközelítést alkalmazhassunk. Ezek megismeréséhez ma már segítséget nyújtanak az immár hosszú évtizedek óta működő vízszint- és meteorológiai megfigyelőhálózatok idősorai.

A talajvízszint-idősor trendjellegetű változásokat, valamint ezen felül különböző frekvenciájú periodikus jelet is mutathat. A periodikusság oka, hogy a fluktuációt jelentősen befolyásoló tényezők (hőmérséklet, evapotranspiráció stb.) szintén periodikus viselkedést mutatnak napi, éves és sokéves léptékben is (Bengtsson, 2003; Rétháti, 1965). A szabályos periódus azonban meteorológiai hatások (pl. csapadékhiány) vagy akár antropogén

befolyás (pl. a vízáradó réteg túlermelése) miatt (is) torzulhat (az amplitúdó/periódusidő csökkenése) (Fehér et al., 2016; Kovács et al., 2010). Ezért egy adott mintaterületen a periodikus jellegzetességek mögött rejlő háttér folyamatok, azaz a vízszintet befolyásoló különböző tényezők jelenlétének megértése segítheti a meteorológiai extrém események hatásainak az előrejelzését. Hosszú időskálán fennálló külső hatások miatt a talajvízszintben trendjellegű változások is létrejönnek, amelyek mértéke alapvetően függ a felszín alatti vízreztim típusától (beáramlási/kiáramlási terület), az érintett vízáramlási rendszer méretétől és a felszín alatti vízáramlás intenzitásától (Freeze és Cherry, 1979; Tóth, 2009). Elméletben a különböző hidraulikus reztimterületek így elkülöníthetők lehetnek a vízszintek hosszú idejű változásai alapján.

## II. CÉLKITŰZÉSEK

Vizsgálataim fókuszát a talajvízszintek többféle időskálán bekövetkező változásainak vizsgálata adta. Az idősorelemzés számos megközelítés alapján elvégezhető, a kutatás során az additív idősori modellt követtem (Shumway és Stoffer, 2017), így külön-külön foglalkoztam a talajvízszint-idősorok periodikus és trendjellegű komponenseivel és a változásokból kinyerhető információkkal, ami a gyakorlatban megfigyelő kutatás idősorainak a geomatematikai vizsgálatát jelentette. A vizsgálathoz a Kárpát-medence olyan speciális területeit választottam, amelyek a mezőgazdaság szempontjából kiemelten fontosak, víz- és környezetvédelmi szempontból az erősen érzékeny kategóriába sorolhatók, továbbá kitettek (lehetnek) a meteorológiai extrém események hatásainak is (pl. aszály).

### 1. A talajvízszint periodikus ingadozása és kapcsolata a klímaelemekkel

A vizsgálatok egyrészt a vízszint periodikus viselkedésének részletes megismerésére, másrészt pedig a periodicitás és a meteorológiai folyamatok kapcsolatának feltárására irányultak. Céloom volt:

- meghatározni azt, hogy a talajvízszint ingadozásában milyen periódusidők mutathatók ki, és ezek a periódusidők időben és térben változtak-e a vizsgált időintervallum alatt.
- Amennyiben a periodikus komponens az idősorokban nem volt szignifikáns a teljes időszakban, és/vagy a szabályos periódus időben torzult, szükséges volt

megvizsgálni azt, hogy ez milyen változásokkal járt együtt (pl. amplitúdó- vagy periódushossz-változás, vízszintsüllyedés stb.)

- Fentiekén túlmenően meghatározni a periodikus viselkedés dinamikáját irányító lokális és regionális meteorológiai háttér folyamatokat meteorológiai adatbázisok elemzésének segítségével.

A periodikus jellegzetességek retrospektív vizsgálata és értelmezése segítheti a jövőbeli meteorológiai extrém események hatásainak a megértését is. A vizsgálatok várható eredményei így hozzájárulhatnak a jövőbeni aszályos időszakokra való felkészülési stratégiák kidolgozásához.

## **2. A talajvízszint trendjellegű változásainak és a hidraulikus rezsimerületek kapcsolata**

A vizsgálatok az alábbi célok elérésére irányultak:

- a talajvízszint és a meteorológiai paraméterek több évtizedes hosszúságú idősorainak fölhasználásával, geometematikai módszerek segítségével, azaz idősoros vizsgálatokkal lehatárolni egy választott mintaterület hidraulikus rezsimerületeit (a beáramlási és kiáramlási területeket).
- Egy egyszerűen használható, statisztikai módszerekből álló megközelítés kialakítása, amely egy mintaterület meglévő idősorai alapján a rezsimerületek elhelyezkedéséről gyors és robosztus képet adhat.
- Meghatározni, hogy a vízkészlet hogyan változott egy mintaterületen évtizedes léptékben, valamint azt, hogy ez a különböző karakterisztikájú rezsimerületeken hogyan jelent meg.
- Feltárni, hogy megfeleltethető-e egy mintaterület vízjárása hosszú időskálán valamilyen környezeti indexszel vagy meteorológiai paraméterrel. Ha igen, akkor megvizsgálni azt, hogy rezsimerületenként más-e az alkalmas leíró paraméter.

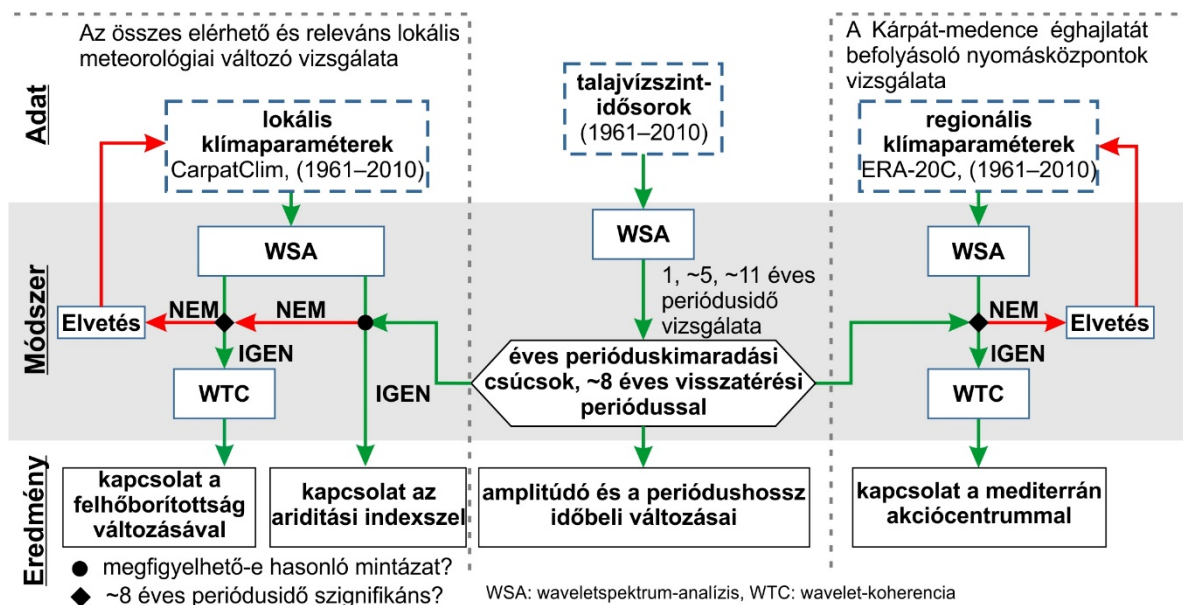
A talajvízszint évtizedes léptékű, trendjellegű változásainak vizsgálata segíthet rámutatni egy mintaterület különböző zónáinak a külső hatásokkal szembeni érzékenységére. Az érzékeny zónák feltérképezése szintén hozzájárul a jövőbeli negatív hatások (pl. a klímaváltozás) kezelésére irányuló felkészülési stratégiák kialakításához is.

### III. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az Alföldön az 1930-as évek óta kiterjedt talajvízszint-megfigyelőhálózat működik, ahol két mintaterületet választottam ki annak érdekében, hogy a regionális klímafolyamatok hatásai is igazolhatók legyenek. Az egyik a Duna–Tisza közének központi részén, a másik a Tiszántúl északkeleti részén helyezkedett el. A kutatás során az 1961 és 2010 között eltelt 50 évet vizsgáltam, az adatbázis 410 megfigyelőkút havi felbontású idősorából állt. A lokális meteorológiai paramétereket a CarpatClim (Spinoni et al., 2015; Szalai et al., 2013), a regionálisakat az ECMWF ERA-20C (Hersbach et al., 2015; Poli et al., 2016) adatbázisok szolgáltatták.

#### 1. Periodicitásvizsgálatok

Az elérhető archív vízszintadatokból összeállítottam a vizsgálatok során használt végleges adathalmazt, amely összesen 194 (Duna–Tisza köz), illetve 216 (tiszántúli) kút havi felbontású idősorából állt. Elsőként waveletspektum-analízis (WSA) segítségével megvizsgáltam idősoronként a periodikus viselkedést és annak változásait időben és térben. Az eredmények alapján a továbbiakban az éves periódusidő változásainak a vizsgálatára fókuszáltam.



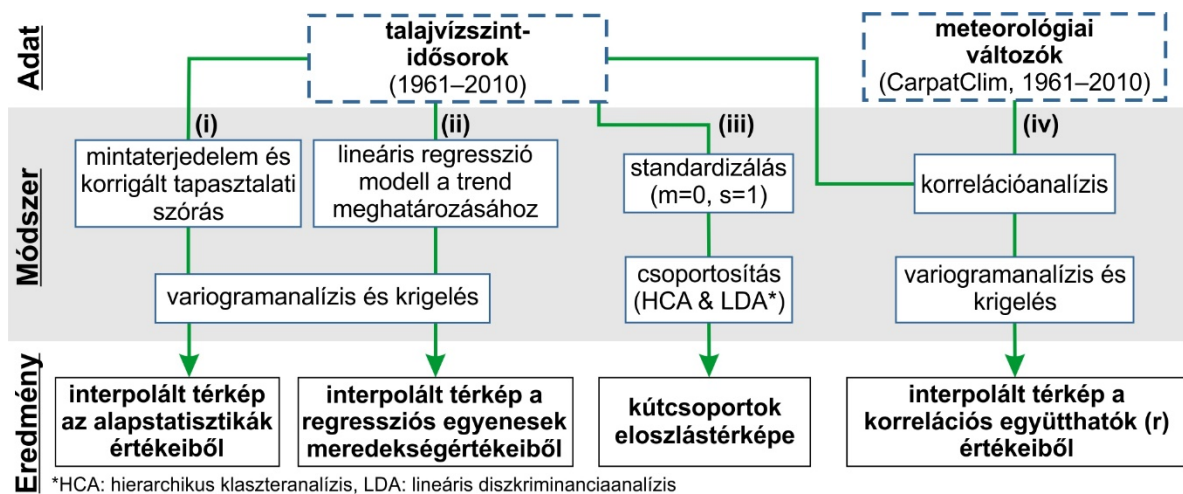
1. ábra. A periodicitásvizsgálat során alkalmazott módszertan (Garamhegyi et al., 2018 alapján).

Az analízis eredményeiből meghatároztam az éves periódus amplitúdó változásait és azokat az időszakokat, amikor a periodikus viselkedés kimaradt a kutak legnagyobb része

esetében. Ezt a mintázatot összevettem a rendelkezésre álló lokális és regionális klímaadatbázisok változóival. A statisztikai összehasonlításhoz korrelációanalízist és waveletkoherencia-analízist alkalmaztam, hogy a változók egymásra gyakorolt hatását detektáljam, valamint időbeli eltérésüket számszerűsítsem és bizonyítsam (Garamhegyi et al., 2018).

## 2. A talajvízszint trendjellegű változásai és a hidraulikus rezsimterületek

Első lépésként (i) a vízszintidősorok 50 év alatti változékonysága (1961–2010), a mintaterjedelem (maximum–minimum) és a korrigált tapasztalati szórás került kiszámításra annak érdekében, hogy a legnagyobb, illetve a legkisebb változásokkal jellemezhető zónák térben elkülöníthetők legyenek (2. ábra).



2. ábra. Mintaterületek kútidősorának analízise és a jellemző rezsimterületek elkülönítésének módszertana (Garamhegyi et al., 2020 alapján).

A változások további differenciálásához (ii) az 50 éves időtartam alatti vízszintváltozásban mutatkozó hosszú idejű lineáris trend is meghatározásra került. Ezen fölül az egyedi fluktuációmintázatok azonosításához (iii) a kutak a standardizált vízszintidősorokban tapasztalható mintázatok alapján hierarchikus klaszteranalízis (HCA) segítségével csoportokba kerültek. Utolsó lépésben (iv) a vizsgált terület lokális meteorológiai változói és az egyedi vízszintidősorok, illetve a kutak csoportjainak átlagos vízszintjei közötti lineáris kapcsolat erőssége került meghatározásra (korrelációanalízis), hogy a meteorológiai folyamatok területi különbségei meghatározhatók legyenek. A vizsgálatok során kapott paraméterek (mintaterjedelem, korreláció stb.) –

variogramvizsgálatot követően – krigelt kontúrtérképeken kerültek vizualizálásra annak érdekében, hogy az esetleges térbeli mintázatot könnyebb legyen azonosítani.

#### IV. TÉZISEK

##### 1. A talajvízszint periodikus ingadozása és a klímaelemek kapcsolata

- I. Az Alföld mintaterületein végzett periódusvizsgálat (waveletspektrum-analízis) rámutatott arra, hogy a talajvízszintben az 1, ~5 és ~11 éves periódusidő 1961 és 2010 között szignifikánsan jelen volt. A részletes vizsgálatok bizonyították, hogy a meghatározott periódusidők közül csak a ~11 éves volt szignifikáns a teljes vizsgált időszakban. Ezzel szemben az 1 és az ~5 éves periódusidő jól lehatárolható időintervallumokban kimaradt a megfigyelőkutak idősoraiból. Ugyanakkor a periodikus viselkedés megjelenéséhez, illetve eltűnéséhez nem köthető területi mintázat, a jelenségek a teljes mintaterületen megfigyelhetők.
- II. A talajvízszint éves periodikus jellegének a hiánya 1961 és 2010 között az éves amplitúdó jelentős lecsökkenésével és a szabályos periódus torzulásával járt együtt (az éves vízszintmaximum és a -minimum között eltelt idő átlagosan 6 hónapról 5 hónapra csökkent). A legnagyobb amplitúdócsökkenés -0.34 m-t is elérte, amely egybeesett a legnagyobb perióduskimaradási csúccsal (1974) nemcsak a Duna–Tisza közén, de a Tiszántúlon is. A perióduskimaradással jellemezhető időszakok szabályos időközönként követték egymást, ~8 éves periódusidővel (Garamhegyi et al., 2018).
- III. Az 1 éves periódusidő megjelenése, illetve eltűnése a geomatematikai vizsgálatok eredménye alapján nincs összefüggésben a hidraulikus rezsimterületekkel, ugyanakkor periódushiányos időszakokban jelentősebb volt a vízszintsüllyedés mértéke a beáramlási területeken, mint a kiáramlási zónákban (Garamhegyi et al., 2018).
- IV. A) A Kárpát-medencében a talajvízszint éves periodikus viselkedésének időbeli változását lokális léptékben az ariditási index írja le legjobban. Ennek értéke elsősorban a téli félévben hulló csapadék mennyiségétől függ, melynek lecsökkenése, - azaz a téli aszály - idézi elő az éves periódusidő torzulását a vízszintekben (Garamhegyi et al., 2018).

B) Regionális léptékben ezt a ~8 évente visszatérő jelenséget a Genovai-öbölből érkező mediterránciklon-gyakoriság 8 éves periodikus változása irányítja. Az éves periódusidő kimaradásának a maximumidőszakai egybeesnek a Genovai-öböl légnyomásmaximumával, ami miatt a ciklonkeletkezés ritkul/gyengül a késő őszi, kora téli időszakban. Ez egyben kevesebb csapadékot is jelent a ciklonközéppontok nyomvonala mentén, beleértve a Kárpát-medencét is (Garamhegyi et al., 2018).

## **2. Hidraulikus rezsimerületek lehatárolása talajvízszint-idősorok geomatematikai elemzésével**

- V. A vizsgálatok arra mutattak rá, hogy több évtizedes hosszúságú talajvízszint-idősorokon és külső környezeti paramétereken a geomatematikai módszerek (hierarchikus klaszteranalízis, lineáris diszkriminanciaanalízis, lineáris regresszió, korrelációanalízis, kirgelés, variográfia) kombinált alkalmazása alkalmas arra, hogy egy mintaterület hidraulikus rezsimerületeit regionális léptékben lehatároljuk. Az alkalmazott módszertan – megfelelő adatminőség esetén – viszonylag egyszerűen kivitelezhető, gyors és robusztus becslést ad a rezsimerületek elhelyezkedéséről. Ennek köszönhetően egy talajvízszint-monitoringhálózattal rendelkező területet érő különböző beavatkozások hatásai gyorsabban értékelhetők és optimalizálhatók (Garamhegyi et al., 2020).
- VI. A Duna–Tisza közén a vízszintváltozások és a külső éghajlati tényezők (pl. csapadék, evapotranspiráció stb.) kapcsolatának vizsgálata rámutatott, hogy a feláramlással jellemezhető területeken (kiáramlási zónák) a standardizált csapadékindex (SPI-24), évtizedes skálán megbízhatóan írja le a vízszintek alakulását. Ezzel szemben a kiemelt területeken, a gravitációs áramlási rendszer beáramlási zónájában (Központi Homokhátság) a kumulált csapadékeltérési index (CPD) bizonyult megfelelő leíró paraméternek (Garamhegyi et al., 2020).
- VII. A Duna–Tisza közén ~30 éven keresztül fennálló csapadékhiányos időszak (1966–1995) elsősorban a Központi Homokhátság 105 mBf feletti zónáiban, a gravitációs áramlási rendszer beáramlási területein éreztette hatását. Ebben a zónában az időszak végére ~4,5 km<sup>3</sup>-rel volt kevesebb a talajvízkészlet. A gravitációs áramlási rendszer kiáramlási területein egy nagyságrenddel kisebb



volt ez a csökkenés. A túlnyomásos áramlási rendszer kiáramlási zónájának tekintetében a csapadékhiány hatása nem érződött, a kutakban szignifikánsan emelkedett a talajvízszint.

## V. A DOKTORI ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

### 1. Folyóiratcikkek

**Garamhegyi T**, Kovács J, Pongrácz R, Tanos P, Hatvani IG (2018) Investigation of the climate-driven periodicity of shallow groundwater level fluctuations in a Central-Eastern European agricultural region. Hydrogeology Journal 26/3, 677-688 DOI 10.1007/s10040-017-1665-2

**Garamhegyi T**, Hatvani IG, Szalai J, Kovács J (2020) Delineation of Hydraulic Flow Regime Areas Based on the Statistical Analysis of Semicentennial Shallow Groundwater Table Time Series. Water 12/3, 828 DOI 10.3390/w12030828

### 2. Angol nyelvű absztrakt, konferencia előadások

**Garamhegyi T**, Kovács-Székely I, Tanos P, Hatvani IG (2019) Determine hydrological flow regime based on shallow groundwater level time series in an important agricultural region of Hungary, In: Magó, László; Kurják, Zoltán (szerk.) "SYNERGY - Engineering, Agriculture and Green Industry Innovation": ABSTRACTS of the VI. International Conference of CIGR Hungarian National Committee and the Szent István University, Faculty of Mechanical Engineering and the XXXIX. R&D Conference of Hungarian Academy of Sciences, Committee of Agricultural and Biosystems Engineering, Gödöllő, Hungary, 4 – 6. November 2019, Gödöllő, Magyarország, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, p. 91

**Garamhegyi T**, Kovács J, Pongrácz R, Tanos P, Trásy B, Magyar N, Hatvani IG (2017) Impacts of Climate Elements on the Annual Periodic Behavior of the Shallow Groundwater Level: Case Study from Central-Eastern Europe In: 19th International Conference on Environment, Climate and Atmospheric Sciences : ICECAS 2017, Dubai, Egyesült Arab Emírségek (2017) p. 200

**Garamhegyi T**, Kovács J, Pongrácz R, Tanos P, Trásy B, Hatvani IG (2017) Connection between climate elements and the periodic behavior of the shallow groundwater level, case study from the Great Hungarian Plain, In: Magó, László; Kurják, Zoltán; Szabó, István (szerk.) "SYNERGY - Engineering, Agriculture and Green Industry Innovation" : ABSTRACTS of the V. International Conference of CIGR Hungarian National Committee and the Szent István University, Faculty of Mechanical

Engineering and the XXXVIII. R&D Conference of Hungarian Academy of Sciences, Committee of Agricultural and Biosystems Engineering, Gödöllő, Hungary, 16 – 19. October 2017, Gödöllő, Magyarország, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, p. 79

#### VÁLOGATOTT IRODALOMJEGYZÉK

- Bengtsson L (2003) Periodic and non-periodic processes in the Earth's atmosphere and oceans, and their relevance for climate prediction: Interplay of Periodic, Cyclic and Stochastic Variability in Selected Areas of the HR Diagram, pp. 433.
- Döll P, Hoffmann-Dobrev H, Portmann FT, Siebert S, Eicker A, Rodell M, Strassberg G, Scanlon BR (2012) Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. *Journal of Geodynamics* 59-60, 143-156 DOI <https://doi.org/10.1016/j.jog.2011.05.001>
- Fehér K, Kovács J, Márkus L, Borbás E, Tanos P, Hatvani IG (2016) Analysis of drip water in an urban karst cave beneath the Hungarian capital (Budapest). *Acta Carsologica* 45/3 DOI 10.3986/ac.v45i3.3440
- Freeze RA, Cherry JA (1979) *Groundwater*, Prentice-Hall, New Jersey, United States
- Garamhegyi T, Hatvani IG, Szalai J, Kovács J (2020) Delineation of Hydraulic Flow Regime Areas Based on the Statistical Analysis of Semicentennial Shallow Groundwater Table Time Series. *Water* 12/3, 828 DOI 10.3390/w12030828
- Garamhegyi T, Kovács J, Pongrácz R, Tanos P, Hatvani IG (2018) Investigation of the climate-driven periodicity of shallow groundwater level fluctuations in a Central-Eastern European agricultural region. *Hydrogeology Journal* 26/3, 677-688 DOI 10.1007/s10040-017-1665-2
- Hersbach H, Poli P, Dee D (2015) The observation feedback archive for the ICOADS and ISPD data sets, ECMWF ERA Report Series, ECMWF, Shinfield Park. Reading, UK
- IPCC (2007) *Climate change 2007*. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof J, van der Linden PJ, CE H (szerk.): *Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge.
- Kovács J, Hatvani IG, Korponai J, Kovács IS (2010) Morlet wavelet and autocorrelation analysis of long-term data series of the Kis-Balaton water protection system (KBWPS). *Ecological Engineering* 36/10, 1469-1477 DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.028>
- Oki T, Kanae S (2006) *Global Hydrological Cycles and World Water Resources*. *Science* 313/5790, 1068-1072 DOI 10.1126/science.1128845

- Poli P, Hersbach H, Dee DP, Berrisford P, Simmons AJ, Vitart F, Laloyaux P, Tan DGH, Peubey C, Thépaut J-N, Trémolet Y, Hólm EV, Bonavita M, Isaksen L, Fisher M (2016) ERA-20C: An Atmospheric Reanalysis of the Twentieth Century. *Journal of Climate* 29/11, 4083-4097 DOI 10.1175/jcli-d-15-0556.1
- Rétháti L (1965) A talajvízjárást befolyásoló természetes és mesterséges tényezők változásának vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny* 45/12, 529-539
- Shumway RH, Stoffer DS (2017) *Time series analysis and its applications: with R examples*, Springer, New York
- Spinoni J, Szalai S, Szentimrey T, Lakatos M, Bihari Z, Nagy A, Németh Á, Kovács T, Mihic D, Dacic M (2015) Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology* 35/7, 1322-1341
- Szalai S, Auer I, Hiebl J, Milkovich J, Radim T, Stepanek P, Zahradnicek P, Bihari Z, Lakatos M, Szentimrey T, Limanowka D, Kilar P, Cheval S, Deak G, Mihic D, Antolovic I, Mihajlovic V, Nejedlik P, Stastny P, Mikulova K, Nabyvanets I, Skyryk O, Krakovskaya S, Vogt J, Antofie T, Spinoni J (2013) *Climate of the Greater Carpathian Region: Final Technical Report*.
- Tóth J (2009) *Gravitational systems of groundwater flow: theory, evaluation, utilization*, Cambridge University Press, Cambridge, UK